
도플러 효과를 이용한 실감 음향 분석 및 구현

임용민* · 임형준 · 허준석 · 박준영 · 도유희 · 이강환*

*한국기술교육대학교

The Analysis and Implementation of Realistic Sound using Doppler Effect

Yong-Min Yim* · Heung-Jun Lim · Jun-Seok Heo · Jun-Young Park · Yun-Hyung Do ·

Kangwhan Lee*

*Korea University in Technology and Education

E-mail : qaz7878@koreatech.ac.kr

요 약

최근 3차원 가상현실에서의 몰입도를 높이기 위해 실감 음향 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 현재의 가상현실에서 적용되는 실감 음향 생성 장치는 음원의 방위각과 위상에 대한 고려는 적용되어 있지만, 음향이 청자에게 다가오고 멀어질 때 발생하는 도플러 효과를 충분히 반영하고 있는 기술이 부족한 현실이다. 따라서 본 논문에서는 가상현실에서의 몰입감을 향상하기 위하여 입체음향 채널의 공간 회전축 스피커를 통해 도플러 효과가 더해진 3차원 입체 증감 음향을 제공하는 방법을 제안한다. 이를 위해 가상의 3차원 공간상에 위치하는 음원을 사용자가 있는 실제 공간에 대응시키고, 가상 음원의 위치에 따라 각각의 공간 회전축 스피커가 출력하는 출력량, 위상차 그리고 회전 각도를 조절해 3차원 실감 음향을 제공한다. 공간 회전축 스피커가 회전하면서 발생하는 회전 음원의 자연적인 도플러 효과와 출력 음원의 주파수 변조를 통한 인위적인 도플러 효과가 더해져 청자에게 음원의 원근감을 더욱 사실적으로 느낄 수 있는 입체 증감 음향의 효과를 제공하게 된다.

ABSTRACT

In modern recently technology, 3D-Audio is used to enhance immersion in Virtual Reality. This includes interest of people about VR and AR, which related to the field of computer graphics. In fact, a lot of research has been carried out in recent years into a 3D sound field. However, the existing 3D generator device used for virtual reality does not contain Doppler effect occurred by the sound comes to or leave from a listener, while an angle from the listener and the altitude of the source sound are applied. Therefore, this paper present 3D real sound utilizing Doppler effect with spatial-rotation-speaker. We map the source sound in 3D-space into a real space where a user stays and present 3D real sound by manipulating with rotation angle, phase difference, sound output volume of the sound in 3D-space, according to the location of a virtual source sound. Utilizing both natural Doppler effect of rotating sound that is occurring by spatial-rotation-speaker and artificial Doppler effect generated by frequency-modulation of sound quality could improving the virtual reality for sound condition for perspective listening.

키워드

도플러 효과, 실감 음향, 공간 회전축 스피커, 입체음향, 가상현실

1. 서 론

최근 들어 컴퓨터 그래픽스 분야의 증강현실과

가상현실에 대한 대중들의 관심이 높아지고 있다. 증강현실과 가상현실은 사용자가 가상의 세계에 직접 참여하는 듯한 느낌을 제공한다. 따라서 해

당 분야의 완성도는 사용자의 몰입도를 유발하는 정도에 따라 결정된다. 몰입도를 증가시키는 중요 감각 요소로 시각과 청각을 뽑을 수 있다. 그중 시각과 관련된 컴퓨터 그래픽스 및 영상 분야의 신기술 개발은 지난 30년간 많은 발전을 이룬 것에 비해 청각과 관련된 오디오 기술 개발의 발전은 상대적으로 낮은 것이 사실이다. 그렇지만 실제 3차원 공간 속에서 가상의 음원을 재현시키는 3차원 오디오 기술은 청각의 몰입도를 높여줄 뿐만 아니라 컴퓨터 그래픽스 및 영상 분야의 실감성을 높여주는 중요한 요소다.[1]

실감 음향 기술이란 음원과 거리의 실시간으로 예측함으로써 3차원적인 현장감과 몰입감을 느끼게 하는 기술이다. 실감 음향을 구현하는 기술은 헤드폰을 이용해 구현하는 방법, 초다채널 스피커 배치를 이용하는 방법, Head Related Transfer Function(HRTF)을 이용한 음원의 신호 처리를 통해서 구현하는 방법 등 다양한 방법이 존재한다.[2]

기존 실감 음향 기술들은 음원에 대한 방위각과 고도에 대한 고려는 포함되어 있지만, 음원의 이동 속도에 따른 도플러 효과를 고려한 기술은 존재하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 공간 회전축 스피커를 이용해 음원의 도플러 효과를 고려한 실감 음향 기술을 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 음파의 상쇄간섭과 보강간섭을 고려해 2개의 공간 회전축 스피커와 사용자의 위치를 제안한다. III장에서는 가상의 음원을 실제 3차원 공간에 사상하고 사용자와 가상 음원 사이의 거리, 2개의 공간 회전축 스피커와 가상 음원 사이의 거리를 고려해 각 스피커의 출력을 계산한다. 또한 가상 음원의 위치를 재현하기 위한 공간 회전축 스피커의 회전 각도를 계산한다. IV장에서는 도플러 효과 적용에 관해 기술한다. V장에서는 본 논문에서 제시한 기술에 대하여 결론을 내릴 것이다.

II. 간섭을 고려한 공간 회전축 스피커의 위치 제안

본 논문에서 제안하는 실감 음향 기술은 입체 음향 채널의 공간 회전축 스피커를 이용한다. 따라서 먼저 사용자의 위치와 2개의 공간 회전축 스피커의 위치를 고려할 필요가 있다.

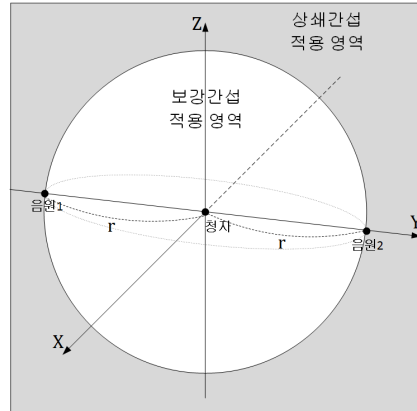


그림 1. 스피커의 위치 및 간섭 적용 영역

청자 양쪽에 같은 거리를 두고 각각 공간 회전축 스피커를 배치한다. 그림 1에서 음원1과 음원2가 공간 회전축 스피커의 위치다. 이는 보강간섭과 상쇄간섭을 확실하게 이용하기 위함이다. 청자는 두 스피커로부터의 경로 차가 항상 0이기 때문에 같은 위상의 음파가 두 스피커에서 출력된다면 항상 보강간섭이 일어난다. 한쪽 스피커의 위상을 180° 반전시켜 출력하면 상쇄 간섭이 일어난다. 청자가 중점이고 반지름이 r인 구 내부에 가상 음원이 대응된다면 보강간섭을 적용하고, 구 외부에 가상 음원이 대응된다면 상쇄간섭을 적용한다. 이러한 간섭 효과를 적용함으로써 청자에게 음원정위를 확실하게 느끼게 할 수 있다.

III. 공간 회전축 스피커의 출력 및 회전 각도 계산 알고리즘

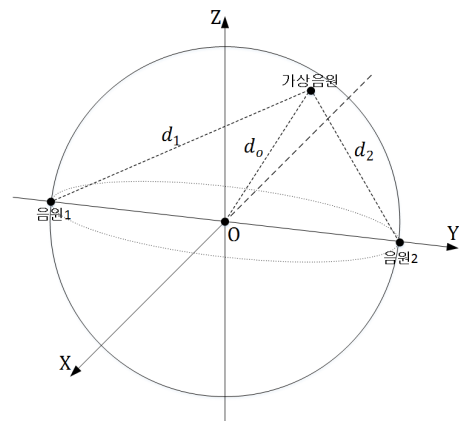


그림 2. 가상음원과 각 요소들 간의 거리

스테레오 시스템에서 음상의 위치를 조절할 때는 pair-wise panning 기술을 이용한다.[3] 그림 2에서 음원1, 음원2에서 재생되는 소리의 진폭을 조절해 줌으로써 청자에게 2차원적인 음상의 위치를 제공한다. 전체 출력의 세기는 가상 음원과

청자의 거리 제곱에 반비례하며, 두 스피커 출력의 비는 거리 d_1, d_2 역수의 비다. 따라서 두 스피커가 출력해야 할 전체 출력 세기 I 와 음원1의 출력의 세기 I_1 , 음원2의 출력의 세기 I_2 는 식(1)과 같다.

$$I = \frac{I_0}{4\pi d_0^2} \quad (I_0 : \text{가상음원의 출력세기}), \quad (1)$$

$$I_1 = I_0 \left(\frac{d_2}{d_1 + d_2} \right), \quad I_2 = I_0 \left(\frac{d_1}{d_1 + d_2} \right)$$

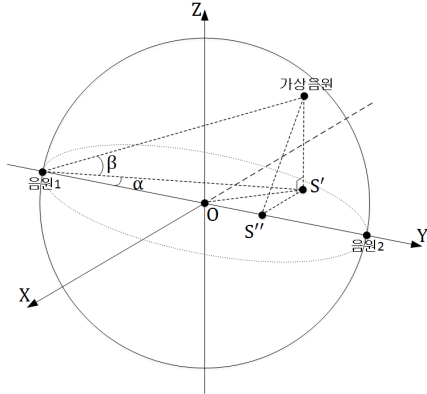


그림 3. 음원1의 회전각도

본 논문에서 제안하는 실감음향 기술은 공간 회전축 스피커를 회전시켜 청자에게 3차원적인 실감 음향을 제공한다. 각 스피커는 가상 음원의 위치를 바라보게 회전한다. 즉, 그림 3에서 음원1은 XY평면에서 각도 α 만큼 회전하고, 상하로 각도 β 만큼 회전한다. 가상 음원의 좌표가 (a, b, c) 라면 α 와 β 의 값은 다음의 식(2)과 같다.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{a}{r+b} \right), \quad (\text{단, } b = -r \text{ 일 때, } \alpha = 0)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{c}{\sqrt{(r+b)^2 + a^2}} \right), \quad (2)$$

(단, $b = -r, a = 0, c > 0$ 일 때 $\beta = \frac{\pi}{2}$,
 $b = -r, a = 0, c < 0$ 일 때 $\beta = -\frac{\pi}{2}$)

IV. 도플러 효과 적용

본 논문에서 제안하는 공간 회전축 스피커를 이용한 실감 음향 구현은 물리적으로 스피커를 회전시키므로 회전 음원에 의한 도플러 효과가 생긴다.[4] 하지만 스피커와 청자 사이의 거리가 고정되어 있으므로 스피커 회전에 의해 발생하는 주파수 변화가 실제 예상되는 도플러 효과에 의한 주파수 변화에 미치지 못한다. 따라서 출력되

는 음원에 주파수 변조를 가해 출력한다. 변화되는 주파수 f' 는 다음의 식(3)과 같다.[5] 스피커의 회전으로 생기는 도플러 효과를 고려해 상수 k 를 통해 값을 보정한다.

f : 파동의 실제 주파수
 v : 파동의 매질 내에서의 속도
 v_s : 매질에 대한 파원의 속도
 k : 보정 상수
 B : 체적탄성률, ρ : 밀도

$$v_{air} = \sqrt{\frac{B_{air}}{\rho_{air}}} = 330m/s$$

$$f' = k \left(\frac{v_{air}}{v_{air} - v_s} \right) f = k \left(\frac{330m/s}{330m/s - v_s} \right) f \quad (3)$$

V. 결 론

본 논문에서는 그림 4와 같은 알고리즘으로 입체음향 채널의 공간 회전축 스피커와 도플러 효과를 이용한 실감 음향 분석 및 구현을 제안하였다.

기존의 실감 음향 기술에서 초다채널 스피커 구성을 이용하는 경우가 많지만 본 논문에서 제시한 방법은 소채널을 이용한 것이다. 따라서 비용적인 면에서 이점이 있다. 또한, 공간 회전축 스피커라는 물리적인 메커니즘을 통해 3차원 실감 음향효과를 구현함으로써 기존의 소채널 방식의 실감 음향 시스템의 한계점을 보완하였다.

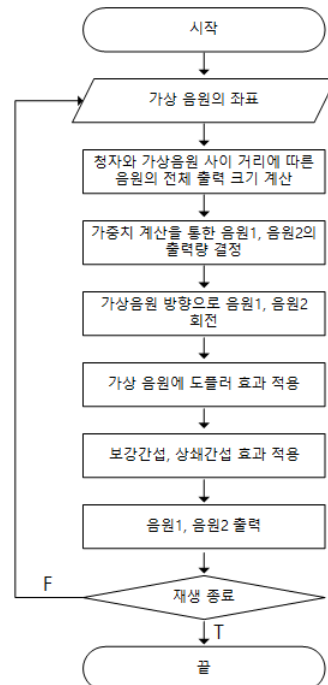


그림 4. 실감음향 구현 알고리즘 순서도

기존 실감 음향 기술에서 적용되지 않았던 도플러 효과를 반영함으로써 음악 및 영상뿐만 아니라 게임과 같은 다양한 매체에 적용될 수 있을 것이라 기대한다.

본 논문에서 제안한 실감 음향 기술에서 청자의 위치가 고정되어 있어야 한다는 한계점이 존재한다. 이를 극복하려면 청자의 위치를 추적할 수 있고, 이를 반영하여 출력 소리의 위상과 크기를 제어하는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 박영철, "멀티채널 실감 오디오 기술 동향", 전자공학회지, 제36권, 제4호, pp. 464-471, 2009.4
- [2] 김정훈, 권기수, 강태균, 김남수, "사용자 맞춤형 실감 음향 기술의 현황과 전망", 방송공학회지, 19권, 1호, pp. 10-21, 2014.1
- [3] V. Pulkki, "Spatial sound generation and perception by amplitude panning technique," PhD thesis, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2001.
- [4] 전원주, 이덕주, "회전음원의 도플러 효과에 관하여", 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, pp. 706-709, 2008.4
- [5] Roger Morehouse, "Doppler-effect equations", American Association of Physics Teachers, 35, pp. 509-511, 1997